

МЕТЕОРИТ ОЗЁРКИ: ОТ ПАДЕНИЯ ДО РЕГИСТРАЦИИ

Пастухович А.Ю.¹, Яковлев Г.А.¹, Петрова Е.В.¹, Грицевич М.И.^{1,2,3}, Луутинен Э.³, Шарыгин В.В.^{1,4},
Замятин Д.А.^{1,5}, Ларионов М.Ю.¹, Кругликов Н.А.^{1,6,7}, Гроховский В.И.¹

¹Уральский Федеральный Университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,
a.iu.pastukhovich@urfu.ru

²Университет Хельсинки, Факультет Физики, г. Хельсинки, Финляндия

³Финская болидная сеть, г. Хельсинки, Финляндия

⁴Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева, г. Новосибирск

⁵Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург

⁶Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

⁷Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург

21 июня 2018 в 01:16:20 UT в Липецкой области наблюдалось падение яркого болида. Событие было зарегистрировано несколькими стационарными и мобильными камерами не только в Липецкой, но и в Орловской, Курской и Московской областях России, а также в Харьковской и Черкасской областях Украины. Кроме того, дымный след в атмосфере был зафиксирован спутником Европейской организации спутниковой метеорологии (EUMETSAT), 23.06.2018 на сайте NASA [CNEOS, 2018] появились данные о мощности взрыва болида – 2.8 кт в тротиловом эквиваленте, угол траектории падения 79°, скорость при входе в атмосферу 14 км/с, максимум свечения зафиксирован на высоте 27 км.

Цель данной работы – описать результаты расчета траектории падения болида, методику поиска в полевых условиях, и привести первые данные о составе найденных образцов.

Пока поисковая группа в составе трех человек выдвинулась в зону падения метеорита из Екатеринбурга, сотрудники лаборатории Extra Terra Consortium проводили сбор и обработку доступных видео- и фотоданных и географическую привязку по местности, а коллеги из Университета Хельсинки занимались параметризацией события на основе данных УрФУ и финской болидной сети.

Поисковая группа прибыла в районный центр Становое Липецкой области 23.06.2018, т.е. уже через два дня после события. Первоначально был проведен опрос местного населения, позволивший подтвердить район поиска, который представлял собой огромные сельскохозяйственные угодья. Поиск проводился с автомобиля по проселочным и технологическим дорогам между полями. 25.06.2018 поисковая группа получила расчетные данные из Университета Хельсинки, и при пешем прочесывании лесополосы между населенными пунктами Озёрки–Злобино был найден первый фрагмент метеорита весом 60 г (рис. 2). Далее

при расширении зоны поиска вокруг первой находки были обнаружены еще три фрагмента на поле, засеянном соей. Позже к работам подключились группы ГЕОХИ РАН и ИНАСАН, а также многочисленные неорганизованные поисковики.

Результаты расчетов и фактическое распределение найденных фрагментов приведены на рис. 1. Зона рассеяния фрагментов по результатам поисковых работ полностью совпадает с расчетными данными, что означает высокую точность использованной модели [Gritsevich, 2009; Lyytinen and Gritsevich, 2012; Lyytinen and Gritsevich, 2016]. Ранее подобная задача была выполнена для болида, пролетевшего над Кольским полуостровом 19.04.2014, два фрагмента которого были позднее найдены поисковиками метеоритной экспедиции УрФУ [Gritsevich et al., 2014 a,b; Trigo-Rodríguez et al., 2014; Kohout et al., 2018].


Найденные фрагменты метеорита были доставлены в лабораторию 29.06.2018. Результаты минералогического и петрографического исследований показали, что метеорит классифицируется как обыкновенный хондрит L6 S4-5 W0. Метеорит Ozerki (Озёрки) зарегистрирован в Meteoritical Bulletin Database 20.07.2018 [MetBul, 2018].

Большинство образцов представлено исходным хондритом с редким присутствием импактных прожилков, но некоторые образцы содержат более значимое количество импактного расплава. Значение магнитной восприимчивости исследованного фрагмента метеорита ($\log \chi$) составляет 4.8.

Первичный хондритовый парагенезис метеорита Озерки представлен оливином $\text{Fa}_{25.60 \pm 0.29}$ (N=51), низкокальциевым пироксеном $\text{Fs}_{21.38 \pm 0.24}\text{Wo}_{1.61 \pm 0.26}$ (N=44), плагиоклазом $\text{Ab}_{83.5}\text{An}_{10.5}\text{Or}_{6.0}$ (N=35), Cr-содержащим клинопироксеном $\text{En}_{45.8}\text{Fs}_{9.0}\text{Wo}_{45.2}$ (Cr_2O_3 – 0.8-1.0 мас.%, N=6), хромитом $\text{Cr}_{72.8}\text{Spl}_{12.1}$ (N=17), хлорапатитом, мерриллитом, FeNi-металлами, троилитом и пентландитом [MetBul, 2018; Шарыгин, 2018].



Рис. 1. Расчетная зона падения и фактические находки.

Символы: – расчетный эллипс рассеяния,
 фактические находки с указанием массы в г.

Большинство хондр (от 200 μm до 1 мм) достаточно плохо выявляются в матрице, хорошо видны лишь наиболее крупные хондры (до 4 мм). Наиболее типичны хондры с порфириновой и колосниковой структурой. Зерна FeNi-металла (до 1 мм) представлены как индивидуальными фазами (камасит,

тэнит или «плессит»), так и их сростками (камасит + тэнит, камасит + «плессит» + тетратэнит, камасит + тетратэнит + пентландит). Обычно они ассоциируют с зернами губчатого троилита (100-500 μm). Иногда пентландит наблюдается в троилите, в особенности на контакте с FeNi-металлом.

Кора плавления (результат плавления в атмосфере Земли) присутствует на всех фрагментах метеорита и её мощность не превышает 600 μm . Она содержит большое количество газовых пузырьков и зональна по строению (рис. 3). Внешняя зона представлена крип-токристаллическим агрегатом скелетных кристаллов зональных оливина и магнетита (до 5 μm) и стеклом (44-47 мас.% SiO_2). Внутренняя зона (в непосредственном контакте с неизмененным хондритом) содержит более крупные кристаллы зонального новообразованного оливина, стекло и второстепенный магнетит. В обеих зонах могут присутствовать округлые реликты исходного хромита, а также новообразованные высоконикелевые металл-сульфидные глобулы (до 10-20 μm), иногда содержащие субмикронные зерна PGE-металла [Шарыгин, 2018].



Рис. 2. Полевое фото первого найденного фрагмента метеорита Озёрки

Выводы.

1. Оперативно найдена зона рассеяния фрагментов на земной поверхности, тем самым подтверждена высокая точность расчетной модели падения болида.

2. Поисковым отрядом метеоритной экспедиции УрФУ собрано 860.3 г метеорита Озерки, всего в зоне падения собрано свыше 9.5 кг вещества.

3. Проведен необходимый комплекс исследований для классификации метеорита Озёрки, установлен его тип – обыкновенный хондрит L6 S4-5 W0.

Работа выполнена при поддержке Акта 211 Правительства Российской Федерации, соглашение № 02.А03.21.0006 в рамках проекта PROTOPLAN-ETS и государственного задания (тема «Давление», № АААА-А18-118020190104-3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарыгин В.В. Высоконикелевые металл-сульфидные глобулы в коре оплавления L6 хондрита Озерки, Липецкая область: предварительные данные // XVIII всероссийская конференция по термобарогеохимии, Москва, 2018, с. 148-150.
2. Gritsevich M., Lyytinen E., Kohout T., Moilanen J., Midtskogen S., Kruglikov N., Ischenko A., Yakovlev G., Grokhovsky V., Haloda J., Halodova P., Lupovka V., Dmitriev V., Peltoniemi J., Aikkila A., Taavitsainen A., Lauanne J., Pekkola M., Kokko P., Lahtinen P.: Analysis of the bright fireball over Kola peninsula on April 19, 2014 followed by successful meteorite recovery campaign // Meteoritics and Planetary Science, 49, MetSoc 2014, special issue, A143, a.
3. Gritsevich M., Lyytinen E., Moilanen J., Kohout T., Dmitriev V., Lupovka V., Midtskogen V., Kruglikov N., Ischenko A., Yakovlev G., Grokhovsky V., Haloda J., Halodova P., Peltoniemi J., Aikkila A., Taavitsainen A., Lauanne J., Pekkola M., Kokko P., Lahtinen P., Larionov M. First meteorite recovery based on observations by the Finnish Fireball Network // In Proceedings of the International Meteor Conference, Giron, France, 18-21 September 2014 Eds.: Rault, J.-L., Roggemans, P. International Meteor Organization, ISBN 978-2-87355-028-8, pp. 162-169, b.
4. Gritsevich M.I. Determination of Parameters of Meteor Bodies Based on Flight Observational Data // Advances in Space Research, 44(3), 323-334. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2009.03.030>
5. Kohout T., Gritsevich M., Lyytinen E., Moilanen J., Trigo-Rodriguez M., Kruglikov N., Ishchenko A., Yakovlev G., Grokhovsky V., Haloda J., Halodova P., M. M. M. Meier, Laubenstein M., Dmitriev V., Lupovka V. ANNAMA H5 METEORITE FALL: ORBIT, TRAJECTORY, RECOVERY, PETROLOGY, NOBLE GASES AND COSMOGENIC RADIONUCLIDES. // METEORITICS & PLANETARY SCIENCE 78th Annual Meeting of The Meteoritical Society, Berkeley, California, USA, v. 50, p. 5209.
6. Lyytinen E., Gritsevich M. A flexible fireball entry track calculation program // Proceedings of the International Meteor Conference 2012, ISBN 978-2-87355-024-4, vol. 2, pp. 155-167.
7. Lyytinen E., Gritsevich M. Calibration of occasionally taken images using principles of perspective // Proceedings of the International Meteor Conference, Egmond, the Netherlands, 2-5 June 2016, Eds.: Roggemans, A.; Roggemans, P., ISBN 978-2-87355-030-1, pp. 159-163.
8. Trigo-Rodríguez J.M., Lyytinen E., Gritsevich M., Moreno-Ibáñez M., Bottke W.F., Williams I., Lupovka V., Dmitriev V., Kohout T., Grokhovsky V. Orbit and dynamic origin of the recently recovered Annama's H5 chondrite // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 449 (2): 2119-2127. <http://dx.doi.org/10.1093/mnras/stv378>
9. <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>
10. <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?sea=Ozerki&sfor=names&ants=&nwas=&falls=&valids=&stype=contains&lrec=50&map=ge&browse=&country=All&srt=name&categ=All&mblist=All&rect=&phot=&stewn=&snew=0&pnt=Normal%20table&code=67709>

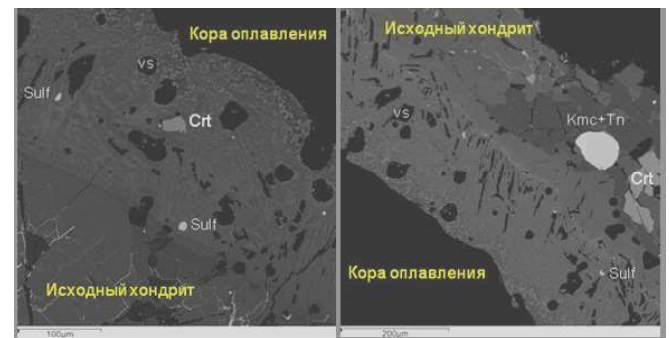


Рис. 3. Строение коры оплавления в L6 хондрите Озерки, BSE фотографии.

Символы: Crt – хромит; Sulf – сульфидные глобулы; Kmc – камасит; Tn – тэнит; vs – газовые пузырьки